

**PROPUESTA DE UNA CUBIERTA VEGETADA EN LA SEDE 4 DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA PARA CAPTACIÓN DE AGUA
PLUVIAL**

PRESENTADO POR:
STIVEN ANDRÉS GARZÓN MARÍN
YOHNN EDIER FONSECA ROJAS

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2020**

**PROPUESTA DE UNA CUBIERTA VEGETADA EN LA SEDE 4 DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA PARA CAPTACIÓN DE AGUA
PLUVIAL**

PRESENTADO POR:
STIVEN ANDRÉS GARZÓN MARÍN
YOHNN EDIER FONSECA ROJAS

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Civil

DOCENTE DIRECTOR:
ING. DIEGO ALEJANDRO PULGARÍN MONTOYA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2020**

ENCABEZADO

PERIODO 2020-I

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE: STIVEN ANDRÉS GARZÓN MARÍN **CÓDIGO** 506563

ESTUDIANTE: YOHNN EDIER FONSECA ROJAS **CÓDIGO** 506468

DIRECTOR: ING. DIEGO ALEJANDRO PULGARÍN MONTOYA

ALTERNATIVA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma presidente del Jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

Bogotá D.C., junio de 2020

DEDICATORIA

Dedico especialmente la elaboración de este documento a mi familia, quien compartió este sueño profesional desde el inicio, a mi madre Luz Marina que me enseñó que las segundas oportunidades existen y me brindó el apoyo y comprensión para emprender este reto personal que siempre hemos compartido y por el que se ha luchado durante varios años, a mis abuelos Marina y Miguel, quienes siempre han anhelado este título profesional y a Samanda que con su compañía y palabras de aliento me impulsaron en el día a día a asumir con responsabilidad este camino académico.

Stiven Andrés Garzón Marín

Para materializar esos sueños que tenemos y que a veces se hacen difíciles de alcanzar, Dios se encarga de poner en nuestro camino, varios ángeles que tiene como misión no dejarnos desfallecer y mantenernos en pie a lo largo del mismo. A mis padres María Edilma y Luis Carlos, este gran triunfo es dedicado a ustedes, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación se pueden hacer realidad los sueños, por todos los días que estuvimos separados para poder culminar con éxito esta etapa de mi vida, que por momentos se tornó esquivo, pero que con su inspiración me fue posible alcanzar. A mis hermanas y sobrina que nunca dejaron de creer en mí, que me dieron palabras de ánimo cuando las cosas parecían estar mal confiaron en mí.

Yohnn Edier Fonseca Rojas

AGRADECIMIENTOS

De antemano hacer extensivo este agradecimiento a la Universidad Católica de Colombia, por ser la institución educativa que nos abrió las puertas para emprender este camino de desarrollo académico que nos cambiará la vida.

Sin duda a nuestras familias que nos brindaron el apoyo incondicional para guiarnos en esta etapa académica y que pusieron su grano de arena para obtener este logro de poder convertirnos en Ingenieros Civiles.

Al Ingeniero Diego Alejandro Pulgarín, que a través de su conocimiento y experiencia, nos brindó el apoyo necesario para el desarrollo del presente trabajo de grado.

A todas las personas que estuvieron presentes en este camino de desarrollo académico, que de alguna manera contribuyeron a hacer realidad este sueño personal y familiar.

TABLA DE CONTENIDO

ENCABEZADO	3
GLOSARIO	12
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	18
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	18
1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.3. OBJETIVOS	21
1.3.1. General	21
1.3.2. Específicos	21
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	21
1.4.1. Matriz DOFA	22
2. MARCO DE REFERENCIA	23
2.1. MARCO TEÓRICO	23
2.1.1. Techos verdes para la gestión integral de agua: caso de estudio Chapinero, Colombia	23
2.1.2. Comparación del rendimiento hidrológico de cubiertas verdes de tipo intensivo y extensivo en Atlanta GA USA	24
2.1.3. Requerimientos de infraestructuras para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá	25
2.2. MARCO CONCEPTUAL	25
3. METODOLOGÍA	27
3.1. PASO I: Proceso investigativo	27
3.2. PASO II: Determinación zona de estudio	28
3.2.1. Ubicación de la zona de estudio	28
3.3. PASO III: Procesamiento datos hidrológicos	30
3.3.1. Recopilación de datos	30
3.3.2. Pretratamiento de datos	32
3.3.3. Aplicación método probabilidad de Gumbel	34
3.3.4. Calculo de volumen para simulación de las pruebas	36
3.4. PASO IV: Diseño y elaboración de prototipos	37
3.4.1. Definir el tipo de cubierta de acuerdo a la zona de instalación	37
3.4.2. Dimensionamiento y planeación del prototipo	37
3.4.3. Materiales requeridos para la construcción del prototipo	38
3.4.4. Investigar y definir el tipo de planta o plantas que cumplan las características requeridas para una cubierta vegetada	41
3.4.5. Proceso constructivo del prototipo	43
3.4.6. Determinación de los espesores de materiales por prototipo y siembra de vegetación	45
3.4.7. Pruebas con lluvia simulada de acuerdo a intensidad de precipitación	48
3.5. PASO V: Pruebas y recopilación de datos	49
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	51
4.1. Resultados Volumen de captación de agua	51

4.1.1. Análisis resultados pruebas de retención	52
4.2. Resultados tiempo de retención	53
4.3. Análisis general	54
4.4 Transferencia de resultados	55
5. CONCLUSIONES	55
6. RECOMENDACIONES	57
7. BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	61

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1- Sistema de captación de agua lluvia	14
Imagen 2- Matriz DOFA.....	22
Imagen 3- Proceso metodológico.....	27
Imagen 4- Ubicación zona de estudio Sede 4 de la Universidad Católica de Colombia	29
Imagen 5- Determinación de las áreas de cubierta y proyectada para cubierta	30
Imagen 6- Ubicación estación hidrometeorológica para toma de datos	31
Imagen 7- Reportes del estado de la red hidrometeorológica – estación cerro cazadores.....	31
Imagen 8- Reporte mensual de la estación cerro cazadores – mes de enero	32
Imagen 9- Gráfica intensidad de precipitación Vs Meses del 2019.....	33
Imagen 10- Datos distribución análisis de Gumbel – Software SMADA	34
Imagen 11- Gráfica Método de Gumbel – Intensidad precipitación Vs Probabilidad Weibull....	34
Imagen 12- Datos análisis distribución método de Gumbel	35
Imagen 13- Gráfico analítico probabilidad de Gumbel	35
Imagen 14- Esquema dimensionamiento y planeación prototipo	38
Imagen 15- Duranta Erecta Golden Edge – planta escogida para el prototipo de cubierta	42
Imagen 16- Construcción del estructura prototipo.....	43
Imagen 17- Forraje de prototipo	44
Imagen 18- Capa de poliuretano	44
Imagen 19- Red de desagüe tubería PVC 1”	44
Imagen 20- Especificación capas para prototipos.....	45
Imagen 21- Malla de 1mm.....	46
Imagen 22- Capa de Grava	46
Imagen 23- Capa de arena.....	46
Imagen 24- Capa geotextil.....	46
Imagen 25- Capa de tierra con material orgánico	46
Imagen 26- Capa de tierra con cascarilla de arroz.....	46
Imagen 27- Estratos vistos desde ventanilla de inspección	47
Imagen 28- Plantación de Duranta Erecta Golden Edge	48
Imagen 29- Sistema de simulador de lluvia para pruebas.....	49
Imagen 30- Prototipo terminado	49
Imagen 31- Momento de pruebas en prototipos	50
Imagen 32- Muestra de prueba P2	50
Imagen 33- Muestra de prueba P1	50
Imagen 34- Muestra de prueba P4	50
Imagen 35- Muestra de prueba P3	50
Imagen 36- Histograma comportamiento retención por prototipo y densidad de plantas	52
Imagen 37- Histograma comportamiento del tiempo en las pruebas por prototipo y densidad de plantas	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1- Clasificación Cubiertas Vegetadas	17
Tabla 2- Determinación del área de estudio y área proyectada	30
Tabla 3- Intensidad máxima diaria mensual	32
Tabla 4- Determinación intensidad precipitación escalada para prototipo	37
Tabla 5- Materiales constructivos para prototipo	38
Tabla 6- Cuadro resumen características de planta <i>Duranta Erecta</i> Golden Edge	42
Tabla 7- Espesores de sustrato para cada prototipo de cubierta vegetada	47
Tabla 8- Evaluación porcentaje retenido de agua en las pruebas (Prototipo 1 – 3 plantas)	51
Tabla 9- Promedios de volumen retenido por prototipo y densidad de plantas	52
Tabla 10- Tiempo promedio de duración de las pruebas	53

GLOSARIO

Absorción: Proceso por el cual las plantas absorben agua y nutrientes por medio de sus raíces, el agua absorbida participa en los procesos funcionales de la planta. (FAO, 2013)

Acuífero: Conjunto de rocas que permiten la permeabilidad del agua y la acumulan en sus poros o grietas, esto es conocido como agua subterránea, los acuíferos presentan dos diferencias, las zonas de saturación que retienen el agua, y las zonas de aireación que se mantiene sin agua retenida. (Ingeoexpert, 2018)

Agua pluvial: Son las aguas provenientes de las lluvias que escurren superficialmente por el terreno, se forman cuando las precipitaciones superan la infiltración del suelo. (EcuRed, 2018)

Alcantarillado: Se le denomina así a un sistema de estructuras y tuberías usadas para la circulación de un caudal de agua lluvia o residual, que se conecta desde donde se recolectan hasta donde se disponen o tratan. (EcuRed, 2007)

Cubiertas vegetadas: (Green-roof) son hechas para la captación de retención de agua pluvial, reduciendo los volúmenes de escorrentía. Están hechas de un sistema multicapa colocados sobre los techos de los edificios, para contribuir con la retención de contaminantes en el aire. (Abellán, 2016)

Escorrentía: Proceso mediante el cual una lámina de agua que transita sobre la superficie de un suelo por acción de la gravedad, la escorrentía es generada principalmente por la precipitación y alimenta las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. Hay 2 tipos de escorrentía como superficial y subsuperficial, cada una depende la capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo. (FAO, 2013)

Esqueje: Es un tipo de propagación asexual, la practica consiste en sustraer un trozo del tallo, raíz u hoja de una planta, que posteriormente se pone a enraizar, en condiciones favorables para obtener una nueva planta. (EcuRed, 2019a)

Evotranspiración: Es una pérdida que puede ser controlada, es la consideración conjunta de dos procesos diferentes como la evaporación y transpiración, esto produce que haya una pérdida en la humedad superficial del suelo al mismo tiempo que una pérdida de agua por transpiración de la vegetación. (FAO, 2013)

Gobernabilidad: Proceso por el cual varios grupos de una sociedad ejercen poder y autoridad, tomando decisiones para la vida pública y para el desarrollo socioeconómico, pero trabajando de forma bilateral para mantener un equilibrio de la vida de un país. (Wanda Mirel Solorio García, 2014)

Hidrología: Es el estudio de las interrelaciones entre el agua y el ambiente, esta disciplina se enfoca principalmente en estudiar el agua localizada cerca a la superficie del suelo, estudiando la precipitación, evapotranspiración, escorrentía y el agua en el suelo. (Marcano, 2019)

Hidrometeorología: Ciencia climática de la rama de la meteorología orientada a la hidrología, esta ciencia reúne teorías y estudios enfocados principalmente al agua de la tierra. (Guerrero, 2011)

Infiltración: Es el proceso que tiene el flujo del agua para transitar a través de la superficie del suelo, es el flujo de agua que transita el suelo por unidad de tiempo. (FAO, 2013)

Percolación: Fenómeno natural en el que científicamente se puede calcular y utilizar para verificar si el agua superficial o subterránea contiene algún contaminante, también es útil para garantizar si el agua es potable para el consumo humano. (EcuRed, 2019b)

Planta Vascular: “son las plantas que contienen verdaderas raíces, tallo y hojas. La raíz, además de sujetar la planta, succiona los nutrientes del suelo o sirve de reserva de alimentos. El tallo permite separar las hojas, las flores y los frutos del suelo, lo que posibilita mayor crecimiento de estos vegetales con respecto a las briofitas. Las plantas vasculares presentan unos vasos conductores (sistema vascular), por donde circulan el agua, los nutrientes o los diferentes minerales, en el interior de la planta.” (Guillermo Fdez. Weigand, 2018)

Precipitación: Es la caída de agua desde la atmósfera hasta la superficie terrestre, formando parte del ciclo del agua, manteniendo así el sustento de todos los ecosistemas. (Significado, 2016)

Prototipo: Un prototipo en sentido genérico es una implementación parcial pero concreta de un sistema o una parte del mismo que principalmente se crean para explorar cuestiones sobre aspectos muy diversos del sistema durante el desarrollo del mismo. (MPlu+a, n.d.)

Recurso hídrico: Son los cuerpos de agua que tiene el planeta, en los que están los océanos, ríos, lagos, arroyos y lagunas. Estos son los recursos que se deben preservar para garantizar la existencia de la vida. (Julián Pérez Porto y María Merino, 2016)

Sistema de captación: Este tipo de sistema consiste en recuperar el agua pluvial, filtrarla y tratarla en un sistema determinado, y almacenarla en un depósito o tanque. Finalmente el agua tratada se distribuye a través de una red hidráulica la cual es independiente de la red de agua potable. (Ecocosas, 2011)



Fuente: Recuperado de <https://www.ecoportal.net/alimentacion/cultivos/ecovida-como-recolectar-agua-de-lluvia-en-tu-casa-es-ecologico-economico-y-muy-simple/>

En la Imagen 2. Sistema de captación de agua lluvia, se muestra un sistema básico utilizado para el uso del agua lluvia en actividades de uso doméstico, el consumo humano está restringido debido

a que no hay un sistema de potabilización del agua en esta red, sin embargo la potabilización del agua en este tipo de sistemas es posible. (ECOPORTAL, 2017)

INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas que más preocupa en el momento a la humanidad, es la disminución en el recurso hídrico, el cual se ha causado por el aumento poblacional y el gran desarrollo industrial para cubrir las necesidades del ser humano, que ha traído consigo afectaciones y cambios a la tierra, caracterizados en aumentos de temperatura, deshielo de los polos, aumento en el nivel del mar, sequías extremas, cambios de precipitación y cambios en los ciclos de lluvias. (Duran, Herrera, & Guido, 2010)

El manejo del recurso hídrico ha hecho que las organizaciones mundiales y gobiernos generen alternativas para proteger el líquido esencial para el desarrollo de la vida, por lo que se han establecido planes de gobernabilidad del agua, como el que implementó Colombia en el año 2010, generado por el Viceministerio de Ambiente, llamada la *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*, que contiene estudios, gestión, estrategias y líneas de acción que generan un modelo para orientar a la población a un mejor manejo de los recursos hídricos de nuestro país. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente, Dirección de Ecosistemas, 2010)

A través de los años se ha visto un gran aumento en el desarrollo de proyectos de construcción, que facilitan y dan comodidad a las labores que lleva la humanidad en el día a día, por lo que la ingeniería civil ha afrontado la problemática ambiental implementando ideas ecoambientales, ya sea con los materiales utilizados, la forma de construcción y el concepto del proyecto final, esto hace que las construcciones actuales tengan ahorros y manejo energéticos, hídricos y de residuos.

Por lo anterior este proyecto surge de la idea de mejora y aporte constante de la construcción en el manejo del recurso hídrico y compensar la pérdida de zonas verdes en la ciudad de Bogotá, por lo que se hará un estudio que involucra al *semillero de investigación Ecocivil* de la universidad para diseñar un prototipo de cubierta vegetada que pueda ser implementado en el edificio de la sede 4 de la Universidad Católica de Colombia, para la captación de agua pluvial y que esta pueda ser usada en un futuro para su recirculación en el uso de baños, para consumo humano y para riego.

Los tipos de cubiertas vegetadas más utilizadas, y de acuerdo a las clasificaciones que se aplican generalmente en Colombia son: (ver Tabla 1).

Tabla 1- Clasificación Cubiertas Vegetadas

Extensiva	Semi-Intensiva	Intensiva
Espesor 7 cm-15 cm	Espesor 15 cm-40 cm	Espesor 50 cm-100 cm
Cubierta verde económica que proporciona un efecto pradera a la superficie donde se instala y exige poco de mantenimiento	Utiliza especies en plantas que necesitan mantenimiento	Cubierta ajardinada que permite todo tipo de especies, ornamentales, arbustivas e incluso arbolado. Puede necesitar sistema de irrigación. Abierta a todo tipo de posibilidades paisajísticas
Carga 150 kg/m ³	Carga 360-600 kg/m ³	Carga 750-1500 kg/m ³
" Ecológico"	" Transitable"	" Paisajista"

Fuente: Recuperado de <https://paimed.com/cubiertas-ajardinadas/>

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Como un aporte de la Universidad Católica de Colombia a la contribución de mitigar el impacto del medio ambiente y en específico de utilizar mejor el recurso hídrico, surgió la idea de este trabajo a través del semillero de investigación Eco-civil.

La captación directa de agua lluvia en la antigüedad fue uno de los recursos más utilizados por la comunidades para suplir sus necesidades básicas, en lugares donde la escases del líquido se presentaba; pero esta práctica ha sido olvidada debido a que las ciudades han crecido y los recursos yacen alejados, por lo que las empresas de servicios públicos suplen esta necesidad conduciendo el agua potable a las grandes poblaciones. (RUBIO, 2014)

A través de los años, Colombia ha elaborado manuales e implementado leyes como la *ley 373 de 1997* que decreta “programas para el aprovechamiento y manejo del recurso hídrico”, los cuales trazan parámetros específicamente a las entidades “prestadoras del servicio y manejo de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje”, (Congreso De La Republica, 2005) pero no existen incentivos y beneficios para que las poblaciones por su propia cuenta realicen la práctica de captación de agua pluvial.

El Departamento Nacional de Planeación y El Ministerio del Medio Ambiente, elaboró un modelo de *Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS*, en el que orienta a las entidades territoriales, a implementar sistemas de drenajes que subsanen las problemáticas de manejo de escorrentías, ofreciendo alternativas tanto de construcción como presupuestales que agilicen el proceso de formulación y estructuración del proyecto. (Másmela et al., 2015)

En países del continente americano referentes en el uso de captación de agua lluvia como México, Estados Unidos y Brasil, se han implementado sistemas llamados SCALL (Sistema de Captación de Agua de Lluvia), los cuales tienen como objetivo brindar información, experiencias e ideas innovadoras para aumentar el aprovechamiento de agua pluvial, principalmente en zonas donde hay escases; este tipo de programas como el SCALL son subsidiados en su totalidad por los

gobiernos, quienes suministran las herramientas y capacitaciones para la instalación y uso del sistema. (SCALL, 2018)

Una de las tecnologías más eficaces e innovadoras es el uso de techos verdes en edificaciones, utilizada por países con grandes desempeños en la captación del agua lluvia, reteniendo más de 60% del agua con techos de tipo extensivos, reutilizando este recurso para usos domésticos y contribuyendo con la disminución en la probabilidad de inundaciones bajando la saturación en las redes de alcantarillado pluvial. Pero el aporte no es netamente de aprovechamiento del recurso hídrico, entre sus otras ventajas está la contribución a la disminución en la contaminación del medio ambiente, la reducción en la temperatura y embellecer el medio ambiente. (Contreras-Bejarano & Villegas-González, 2019)

Un estudio realizado en la Universidad Javeriana de Colombia en la Ciudad de Bogotá, en la que se empleó un tipo de cubierta mediante botellas plásticas, las cuales tenían un sustrato determinado y plantas simulando una cubierta vegetada, permitía la evaluación mediante modelos matemáticos de caudales, escorrentía, intensidad, entre otros datos hidrológicos, que permitiera dar un concepto sobre las características del comportamiento de una cubierta vegetada y su impacto; este estudio arrojó resultados positivos en cuanto al manejo de escurrimiento o infiltración del agua, dando un concepto favorable para aplicar a gran escala este tipo de cubierta en zonas vulnerables de deslizamientos y problemas de manejo de escorrentía. (Aguirre & Morera, 2014)

El análisis del comportamiento de una cubierta vegetada, está dado principalmente por los espesores de sustrato y el tipo de plantas utilizadas, los cuales definen el tipo de cubierta, si es intensivos o extensivos. Un análisis del comportamiento frente a la percolación realizado por (Triana & Loaiza, 2018) en distintos tipos de plantas y mezcla entre ellas da claridad mediante sus resultados que el tipo de planta escogida para los techos verdes es trascendental, pues el comportamiento en porcentaje de retención de agua lluvia varía significativamente.

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Debido al desgaste ecológico por la explotación de los recursos del planeta, un buen manejo del recurso hídrico es una de las problemáticas que afecta severamente a la población, ya sea por la escases que se presente o por los costos que tiene adquirir agua potable, por lo anterior la práctica de captación de agua lluvia, es tal vez, una de las acciones más innovadoras para aprovechar al máximo el agua y una alternativa para reducir la explotación de los acuíferos y fuentes hídricas. (López, Palacios, Anaya, Chávez, & Enrique, 2017)

Para las construcciones ambientalmente sostenibles sin importar su magnitud, implementar sistemas de captación, tratamiento, retención y conducción de agua pluvial, hace que los rubros presupuestales para el desarrollo del proyecto aumenten, debido a que este proceso de reutilizar el agua tiene un diseño y mantenimiento hidráulico costoso, por lo que hacer posible esta práctica depende del nivel socioeconómico de la población o del apoyo gubernamental para destinar gastos a las poblaciones menos favorecidas. (Jore & Hector, 2010)

Pero la problemática en cuanto al manejo del recurso hídrico no se debe únicamente a la escases que se pueda presentar del agua; uno de los mayores retos que enfrentan las ciudades altamente pobladas es el manejo del proceso de escorrentía natural, que se ve afectado por la impermeabilización que trae consigo las vías y techos de las edificaciones, y se causan inundaciones menores o encharcamientos por la falta de capacidad de los sistemas de alcantarillado para la evacuación del agua pluvial. (Nieto Escalante, 2011)

Lo anterior hace que a nivel mundial, se implanten estrategias para que se haga un adecuado manejo del agua pluvial desde la misma construcción, ya sea disminuyendo la impermeabilización del suelo para que las aguas filtren a la capa terrestre y se facilite su evaporación de manera natural, o haciendo procesos de reurbanización que faciliten el transporte de escorrentía y no se afecten las fuentes hídricas por contaminación de estas aguas lluvias. (Mcclatchy, Business, & July, 2009)

De la anterior problemática surge la siguiente pregunta *¿Las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia pueden aportar estrategias para el manejo de las aguas pluviales?*

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

Realizar una propuesta de captación de agua pluvial a través de una cubierta vegetada en la sede 4 de la Universidad Católica de Colombia.

1.3.2. Específicos

- Realizar un análisis hidrológico de la zona con la cual se pueda determinar la precipitación que se presenta.
- Investigar y definir un tipo de cubierta vegetada para la captación de agua pluvial que mejor se ajuste a las condiciones de diseño y arquitectónicas de la sede 4.
- Diseñar un prototipo de cubierta vegetada empleando una especie de planta nativa, para evaluar el comportamiento de retención y beneficio que tendría para la captación de agua pluvial.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

El trabajo de investigación presentado explora un análisis en el cual se realiza un prototipo de cubierta vegetada en el cual se emplea un tipo de planta específico, y el uso de diferentes materiales en cuanto a la composición básica de una cubierta verde.

El estudio hidrológico mediante la información abierta de las plataformas climatológicas como el IDEAM o la CAR, es en primera instancia el análisis base, para definir el enfoque y tipo de pruebas realizadas al prototipo de cubierta vegetada, por lo anterior para agilizar y comparar los procesos y resultados, se tendrán 4 modelos de cubierta, los cuales contarán con diferencias en los espesores estratigráficos de los materiales.

Debido a la contingencia presentada durante el transcurso del año 2020, sobre la pandemia mundial del COVID-19, el desarrollo del proyecto se vio significativamente afectado en el tiempo de ejecución, en la realización del estudio hidrológico y de las instalaciones en cubierta de la sede 4

de la Universidad Católica de Colombia, ya que en primera instancia para definir el tipo de cubierta vegetada a proponer, se realizaría una toma de muestras de intensidad de lluvia en el sector.

1.4.1. Matriz DOFA

Imagen 2- Matriz DOFA			
D	O	F	A
Debilidades	Oportunidades	Fortalezas	Amenazas
			
El conocimiento obtenido durante el transcurso del ciclo académico de Ingeniería Civil, en cuanto al área de hidrológica, hidráulica y de gestión ambiental, facilita el entendimiento de datos y desarrollo del proyecto.	Faltas de normativas en Colombia frente al manejo de cubiertas vegetadas Escasez de información de aplicación para cubiertas vegetadas en Colombia.	El análisis de este estudio ofrece a la Universidad Católica de Colombia futuras oportunidades de mejora en sus instalaciones, en aras de generar reducciones en el impacto ambiental y optimización del recurso hídrico.	El COVID-19, generó dificultades considerables en el proceso de recopilación de la información hidrológica del sector y la generación del prototipo, situación que impacto en los tiempos de ejecución del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.			

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Techos verdes para la gestión integral de agua: caso de estudio Chapinero, Colombia

Bogotá, es una de las ciudades Colombianas con mayor expansión en los últimos años, debido a su aumento poblacional, causada por la migración de los habitantes ya que es uno de los mayores centros en la economía del país.

El crecimiento en la industria de la construcción ha causado que se presenten varias inundaciones en distintas localidades de la ciudad, debido a la impermeabilización de los terrenos y aumento de zonas duras, registrando datos sobre familias que han perdido sus enseres y bienes domésticos, lo que hace evidencia una baja gestión del recurso hídrico.

Pero esta gestión deficiente de los recursos hídricos no se presenta únicamente en Bogotá; estudios revelan que en países como México, China, África del Norte e Italia, ya sufren con reducción en las fuentes de agua necesarias para cultivos y suministro a poblaciones, lo que enmarca una problemática global del uso irracional del agua que se traduce en escases e inundaciones.

Ya que el aumento de inundaciones está creciendo paulatinamente, fue realizada la investigación que presenta una alternativa para el manejo integrado del recurso hídrico, mediante un análisis de un prototipo de techo verde que ofrece un manejo de las aguas lluvias. “Este tipo de estrategias busca sobre todo la reducción de caudales por escorrentía, el control de la contaminación del agua lluvia, y la ampliación de la infraestructura pluvial”. (Contreras-Bejarano & Villegas-González, 2019)

Dentro de la investigación, fue realizada una encuesta en la comunidad de la zona estudiada de Chapinero, Colombia, para conocer si conocían por qué se presentan las inundaciones y como podrían mitigarla, pero en definitiva se desconocen las causas y los tipos de alternativas para disminuir esta problemática; pero sin embargo a la pregunta “¿estaría dispuesta a instalar un techo

verde en su propiedad, para contrarrestar los niveles de inundación y aumentar la calidad ambiental de Bogotá?”, los resultados arrojando fueron positivos ya que ningún encuestado se negó a realizar esta práctica alguna vez.

Lo anterior demuestra un interés por las poblaciones a contribuir con el buen manejo del recurso hídrico y por la mitigación del impacto de contaminación del medio ambiente. (Contreras-Bejarano & Villegas-González, 2019)

2.1.2. Comparación del rendimiento hidrológico de cubiertas verdes de tipo intensivo y extensivo en Atlanta GA USA

La escorrentía debido al crecimiento de zonas impermeables hace que aumente, por lo que implementar techos verde aumenta la retención de agua entre un 40 a 80%, por lo cual el estudio comparó dos tipos de techos verdes en el centro de la ciudad de Atlanta, GA USA, uno de tipo intensivo y otro extensivo.

Para la evaluación de eficiencia de techos verdes, se tienen que cuantificar factores de precipitación, radiación solar, temperatura, humedad relativa, tipo de vegetación, propiedades de la capa de suelo e intensidad de eventos de tormenta; pero Estados Unidos no tienen una normativa para la evaluación específica de factores de los techos verdes, por lo que los resultados de eficiencia que hace de esta una tecnología eficiente son de estudios privados.

La evaluación del desempeño de los techos fue realizado en un periodo de 6 meses, en los que el techo extensivo tuvo una retención volumétrica del 20%, y el intensivo alcanzó un 25%, esto evaluado en un periodo de lluvia de varios meses de intensidad, los datos arrojados son congruentes con el tipo de sustrato manejado, ya que el techo extensivo tiene un espesor del sustrato de 10 cm y el intensivo de 51 cm.

Como una de las conclusiones del estudio, se podría hacer una evaluación más específica del tipo de sustrato a utilizar, en la que se evalúen los espesores, el tipo de suelo y el área de ocupación, esto para valorar las variaciones en la retención de agua pluvial en tipos distintos de techos verdes. (Stefanoff, 2019)

2.1.3. Requerimientos de infraestructuras para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá

Ya que el campus de la Pontificia Universidad Javeriana está ubicado en la zona de piedemonte de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, presenta altos niveles de precipitación, por lo cual se han generado varios casos de inundaciones en zonas del campus, esto hizo que el departamento de Ingeniería Civil iniciara con procesos de investigación en construcciones que aprovechen el agua lluvia para usos no potables.

Estos estudios iniciaron en 2004, en lo cual fue verificado el comportamiento hidrológico de la zona en el campus, a fin de ver la oferta y demanda de volúmenes de gasto que puedan presentarse en ciertos usos, seguido fue evaluada la calidad del agua de escorrentía para ver sus posibles usos.

Fue realizada una auscultación de los edificios de la PUJB, con el fin de verificar el gasto de todas las actividades que se presentan en las instalaciones y tener el volumen de gasto por cada edificio, así mismo se comparó con los gastos presentados en el recibo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, obteniendo resultados cercanos.

Para detallar la posible captación de agua lluvia en las instalaciones de la universidad, se estudiaron captaciones de todo el campus y se compararon con el método de oferta y demanda al inicio de la investigación, determinando que la captación de agua pluvial es insuficiente para suplir el gasto total de los edificios en épocas de lluvia, y esta solo podría ser utilizada en consumos de labores externas como lavado y riego.

La investigación concluye que “el agua lluvia no es suficiente para cubrir la demanda hídrica total. En consecuencia, se demostró que se podría suplir una demanda máxima del 14% del consumo total en el campus”. (Jore & Hector, 2010)

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Para la ejecución de proyectos que tengan como finalidad la captación y aprovechamiento de agua

lluvia, es importante conocer y entender conceptos básicos de los principios fundamentales para la implementación de sistemas funcionales que permitan dar un destino apropiado o más útil al agua pluvial en una zona determinada de estudio.

La captación de agua lluvia consiste básicamente en un sistema que permite almacenar en un deposito el agua para su posterior estudio o reutilización, uno de los sistemas más eficientes es el uso de cubiertas verdes, por medio del cual se recoge el agua de superficies impermeables o poco permeables y se conduce por medio de canaletas o sumideros de techo para posteriormente almacenarla.(Bioconstrucción, 2020)

Es de gran ayuda para la implementación de captación de agua pluvial ya sea por cubiertas vegetadas u otro tipo de sistema Comprender el ciclo hidrológico y saber cuáles son sus variables manejables como la precipitación, evapotranspiración, infiltración, percolación, absorción y escorrentía. (FAO, 2013)

El tipo de proyecto que se desee implementar influye en la complejidad de desarrollo que pueda tener el sistema de captación y conducción, ya que estos dos mecanismos se complementan entre sí, existen varios parámetros en los cuales es necesario emplear metodologías de cálculos matemáticos que permitan hallar la eficiencia de los sistemas proyectados, como el utilizado por (Wilman Ortiz & Velandia, 2017) el cual empleó metodologías como la de Darcy-Weisbach para la evaluación de pérdidas en la conducción del agua captada.

3. METODOLOGÍA

Con el fin de manejar de la mejor manera el desarrollo del proyecto de investigación que se ha planteado, se hará una estructura que contiene 5 (cinco) pasos, que ayudarán con el orden de ejecución de cada parámetro.

Imagen 3- Proceso metodológico



Fuente: Elaboración propia.

3.1. PASO I: Proceso investigativo

Para el inicio de la investigación del proyecto y tema de estudio, se realizó una investigación de precedentes en cuanto a la utilización y resultados obtenidos a nivel mundial y local al instalar cubiertas de tipo vegetal, tanto en hogares, edificios empresariales, universidades y los aplicados por el desarrollo urbanístico de las ciudades.

Lo anterior ayudó a comprender y determinar las normativas existentes para la aplicabilidad de este tipo de proyectos ecológicos y sustentables, que tienen como finalidad contribuir a distintos impactos ambientales y manejo de los mismos; de esta manera se escoge un tipo de cubierta, planta, materiales y pruebas a realizar.

Es importante como primera medida investigar las normas locales para la aplicabilidad de este tipo de proyectos, ya sea por decreto, circulares, resoluciones o constitucionales, por lo que esto nos da márgenes de cumplimiento legales y de efectividad de los mismo, teniendo en cuenta que la

ubicación, la influencia hidrológica, climática y ambiental impactan a gran escala este tipo de proyectos.

Previo a realizar inversiones encaminadas a la ejecución de proyectos de este tipo, debe establecerse los impactos negativos y positivos que pueda traer, ya sea por deficiencia e inadecuado manejo de las gestiones ambientales o por el deterioro de los sistemas del manejo de drenaje y escurrimiento.

La planeación del manejo presupuestal y el tiempo de ejecución del proyecto, juegan un papel fundamental para cualquier proyecto, pues en este caso la localización de las zonas que requieren implementar este tipo de ideas eco-ambientales pueden o no contar con los recursos básicos y la mano de obra que permita la implementación y/o construcción; por lo que se hace necesario ajustar los precios correspondientes del sector.

3.2. PASO II: Determinación zona de estudio

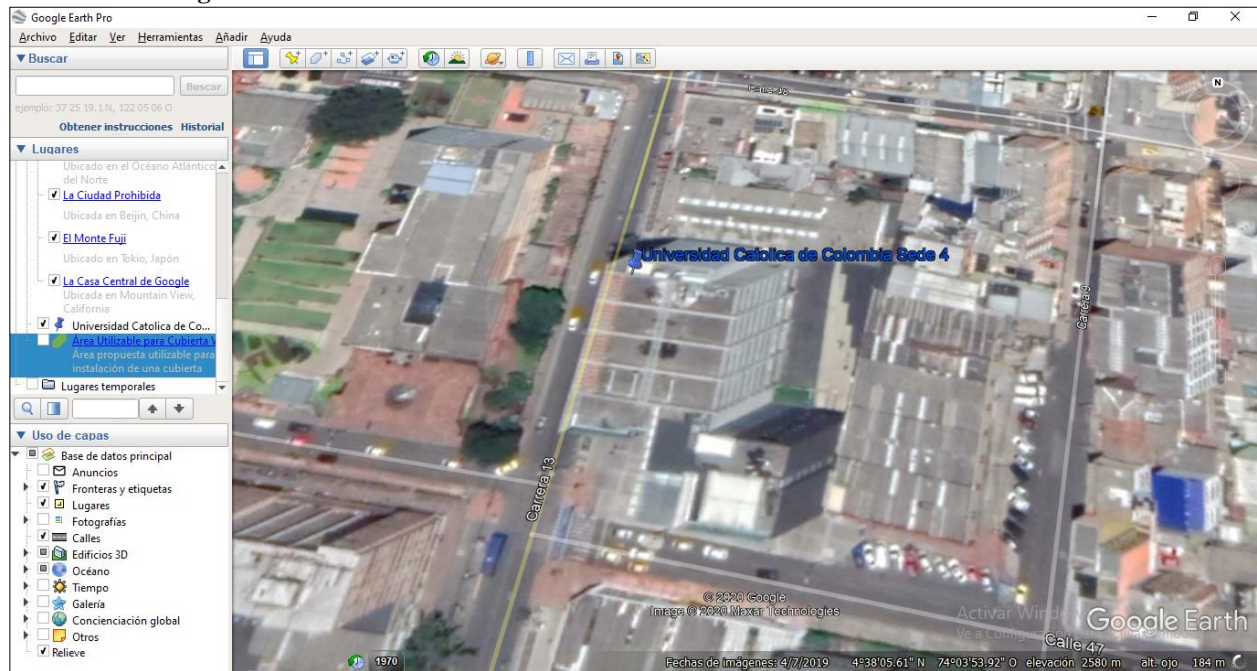
El proyecto siempre fue pensado como una alternativa que ofrezca la oportunidad de implementar en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia sistemas de sostenibilidad ambiental, para este caso se planteó la ubicación del estudio en la Sede 4 del plantel educativo, en aras que a futuro la Universidad utilice este tipo de cubiertas vegetales como un complemento al aprovechamiento de las aguas lluvias y así disminuir el costo en consumo de agua potable, al igual para la contribución en la reducción de las emisiones de carbono y la creación de ambientes saludables para los estudiantes.

La Sede 4 de la Universidad Católica de Colombia, por ser una construcción nueva y eficiente, mediante la implementación de este tipo de proyectos ambientales, podría proyectar convertirse en una construcción sostenible, pues con el sistema de ahorro energético que ya ofrece y al implementar cubiertas vegetales para la captación y uso del agua lluvia en el edificio, podría obtener una certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).

3.2.1. Ubicación de la zona de estudio

La Sede 4 de la Universidad Católica de Colombia, se encuentra ubicada en la Carrera 13 con Calle 47, en la localidad de Chapinero, de la ciudad de Bogotá, Colombia, latitud 4°38'04''N - longitud 74°04'57'' O.

Imagen 4- Ubicación zona de estudio Sede 4 de la Universidad Católica de Colombia



Fuente: Google Earth, Ubicación Universidad Católica de Colombia [Consultado: Abril de 2020], Disponible en <https://earth.google.com/web/@4.6344205,74.06594573,2574.40708375a,114.86740598d,35y,0h,0t,0r/data=CmIaYBJaCiUweDhlM2Y5YTJmODRjZDM2NDk6MHg4OGE4ZmZmMDU3YzhhNTJkKjFVbml2ZXJzaWRhZApjYXRvbGJjYSBzZWRIIDQKQ2VycmFkbyB0ZW1wb3JhbG1lbnRlIGAlgAQ>

Por los motivos expuestos en el numeral *1.4 Alcances y Limitaciones* del desarrollo del trabajo de investigación, no fue posible acceder a la cubierta y obtener los planos de la misma, por lo que se utilizó la herramienta de medida de Google Earth para determinar el área total de la cubierta y el área que se podría utilizar a futuro, esta última con el condicionante que las imágenes presentadas por el programa Google Earth no son muy claras, lo cual en la planeación y ejecución de un proyecto de implementación de cubierta vegetada puede variar.

Imagen 5- Determinación de las áreas de cubierta y proyectada para cubierta



Fuente: Google Earth, áreas propuestas para cubierta U.C. de Colombia [Consultado: Abril de 2020], Disponible en <https://earth.google.com/web/@4.6344205,74.06594573,2574.40708375a,114.86740598d,35y,0h,0t,0r/data=CmIaYBJaCiUweDhlM2Y5YTJmODRjZDM2NDk6MHg4OGE4ZmZmMDU3YzhhNTJkKjFVbml2ZXJzaWRhZApjYXRvbGljYSBzZWRIIDQKQ2VycmFkbyB0ZW1wb3JhbG1lbnRlGAIgAQ>

Tabla 2- Determinación del área de estudio y área proyectada

Áreas	
Área Cubierta	Área Proyectada Utilizable
(m ²)	(m ²)
666.00	188.00

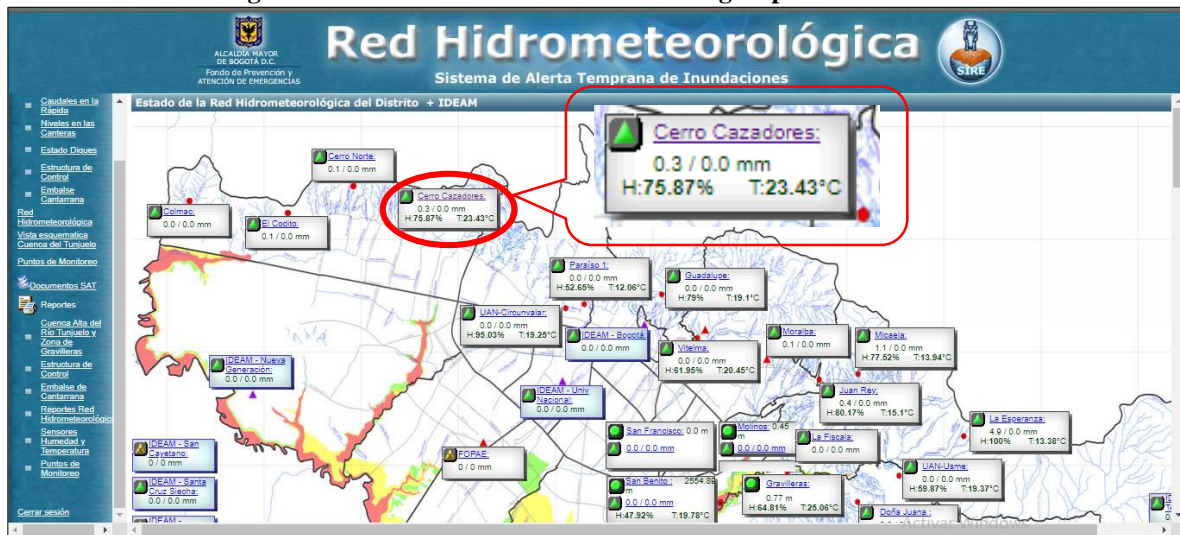
Fuente: Elaboración propia.

3.3. PASO III: Procesamiento datos hidrológicos

3.3.1. Recopilación de datos

Para la ejecución del trabajo de investigación, se requirió de datos de intensidad de precipitación de una estación cercana que tenga un historial amplio de los sucesos presentados, a través de la plataforma *Red Hidrometeorológica Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones SIRE* del IDEAM, se identificó la estación activa Cerro Cazadores, cercana a la zona de estudio en la localidad de chapinero en Bogotá.

Imagen 6- Ubicación estación hidrometeorológica para toma de datos



Fuente: Red Hidrometeorológica SIRE IDIGER 1, Estación Cerro Cazadores [Consultado: Abril de 2020],

Disponible en <http://logina.sire.gov.co/riotunjuelo/monitoreo/>

La estación Cerro Cazadores como se evidencia en la Imagen 6, ofrece datos en tiempo real de Intensidad de Precipitación en mm, Humedad en % y Temperatura en °C, sin embargo para el análisis de datos se requirió de información histórica de la estación Cerro Cazadores, para lo cual se utilizaron los datos presentados de intensidad de precipitación de todo el año 2019 los cuales serán los datos base el desarrollo del trabajo de investigación.

Imagen 7- Reportes del estado de la red hidrometeorológica – estación cerro cazadores

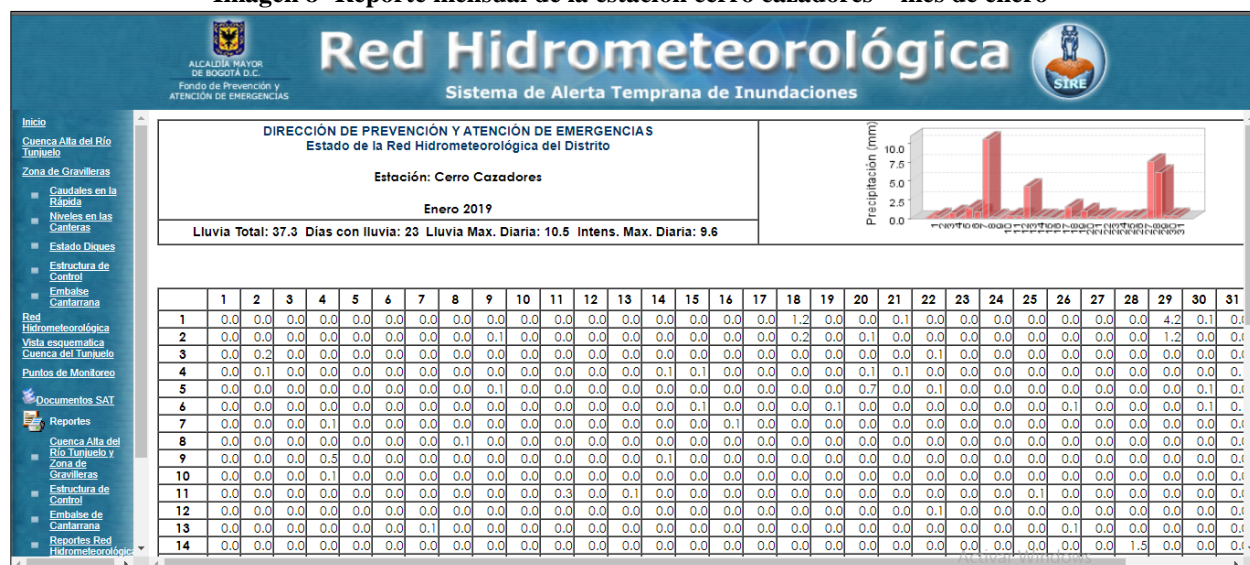
The screenshot shows the 'Reportes del Estado de la Red Hidrometeorológica del Distrito' section of the web application. It features several interactive forms. The 'Informe Mensual' section is highlighted with a red circle, showing options to select the station ('Cerro Cazadores'), the month ('Enero'), and the year ('2019'). Other sections include 'Consulta por día', 'Variación de niveles del Río Tunjuelo', 'Variación de Lluvias', and 'Reporte por minutos'. The interface includes a sidebar with navigation options and a top header with the system name.

Fuente: Red Hidrometeorológica SIRE IDIGER 1, Reporte del estado Cerro Cazadores [Consultado: Abril de

2020], Disponible en <http://logina.sire.gov.co/riotunjuelo/monitoreo/>

Al generar el reporte en la información mensual desde el primero (1) de enero hasta el treinta y uno (31) de diciembre del 2019, se obtiene la información de intensidad de precipitación en mm, por hora y por día del mes, al igual un resumen de los datos y gráfica de histogramas la cual contiene precipitación Vs días del mes.

Imagen 8- Reporte mensual de la estación cerro cazadores – mes de enero



Fuente: Red Hidrometeorológica SIRE IDIGER 1, Reporte estación Cerro Cazadores Intensidad precipitación enero de 2019 [Consultado: Abril de 2020], Disponible en <http://logina.sire.gov.co/riotunjuelo/monitoreo/>

3.3.2. Pretratamiento de datos

De acuerdo con la Imagen 8, donde se identifican los datos intensidad de precipitación, los cuales se obtienen para el año 2019 son registrados en una hoja de cálculo del programa Excel, en la cual se realiza un resumen de los datos de intensidad máxima en cada uno de los meses y se verifica el comportamiento de la precipitación durante el periodo evaluado.

Tabla 3- Intensidad máxima diaria mensual

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mes (2019)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Int. Max. Diaria (mm)	9.6	9.5	46.1	15.6	6.7	5.6	6.8	5.5	34.8	10.5	20.6	41.2

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos presentados en la Tabla 3 se calcula un promedio de la Intensidad Máxima Diaria (mm). (Ver Ecuación 1)

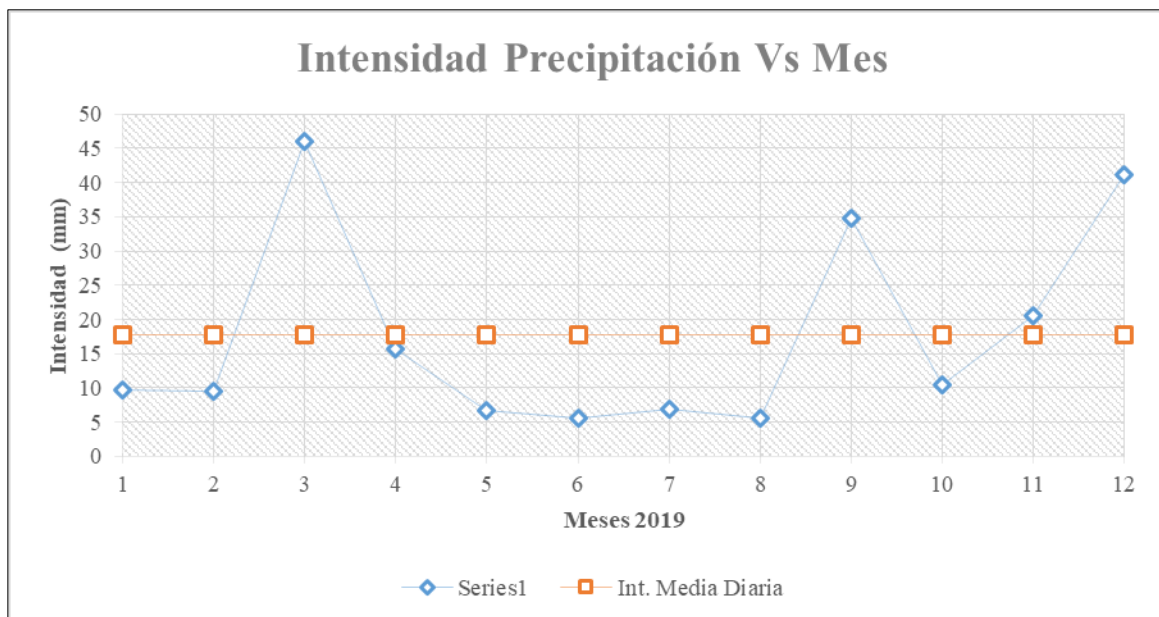
$$Int. Media diaria = \frac{\sum intensidad max. diaria}{\# de meses evaluado} \quad (Ecuación 1)$$

Aplicando la formula (1), se obtiene el siguiente resultado, el cual es necesario para proyectar como se realizarán las pruebas a los 4 prototipos de cubiertas vegetadas.

$$Int. Media diaria = 17.708 mm$$

El objetivo del análisis de los anteriores datos, es generar una gráfica que de claridad al comportamiento de la intensidad de precipitación en la zona de estudio.

Imagen 9- Gráfica intensidad de precipitación Vs Meses del 2019



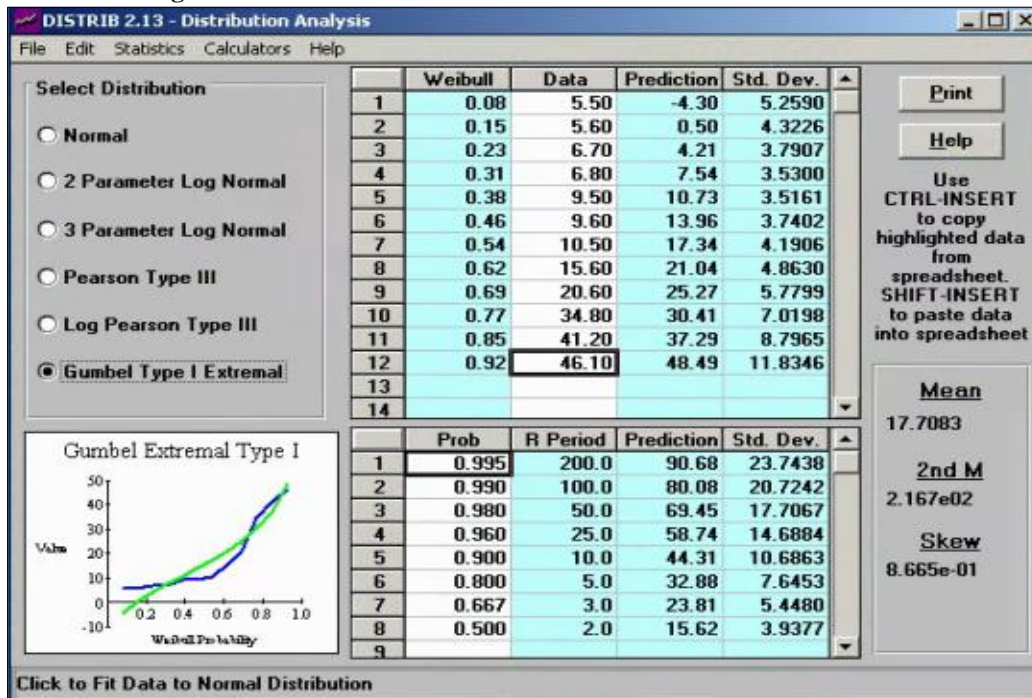
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de *Intensidad Precipitación Vs Mes* presenta claramente el comportamiento de la precipitación en el año 2019, la cual presenta una modalidad Multimodal presentando las mayores precipitaciones en el mes de marzo, septiembre y diciembre, donde se generan los excesos de lluvia.

3.3.3. Aplicación método probabilidad de Gumbel

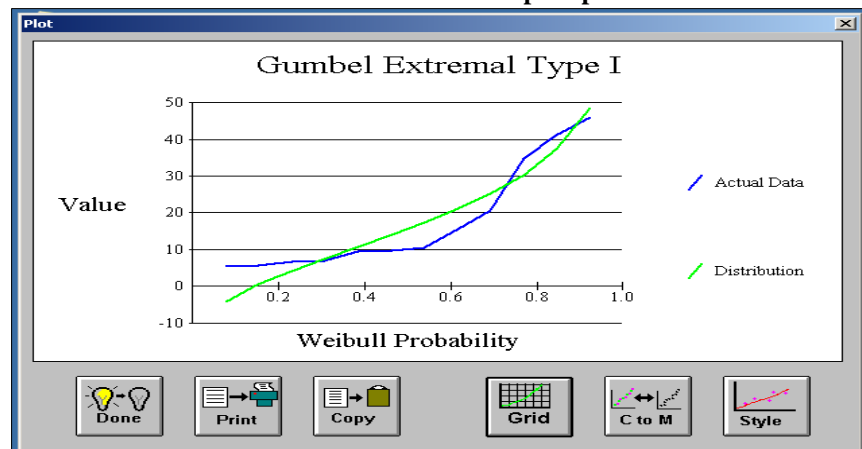
Se utilizó el software SMADA, para analizar las proyecciones tomando como referencia los registros de intensidad de precipitación multianual, para evaluar el periodo de retorno en años y el rango de intensidad de precipitaciones para las pruebas con los prototipos.

Imagen 10- Datos distribución análisis de Gumbel – Software SMADA



Fuente: Elaboración propia utilizando el software SMADA.

Imagen 11- Gráfica Método de Gumbel – Intensidad precipitación Vs Probabilidad Weibull



Fuente: Elaboración propia utilizando el software SMADA.

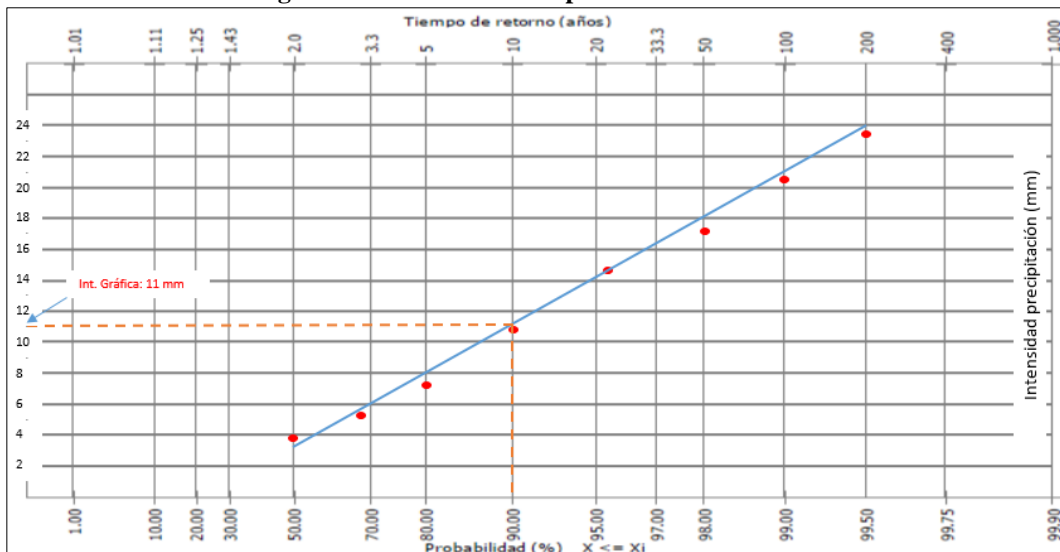
Imagen 12- Datos análisis distribución método de Gumbel

Distribution Analysis: Gumbel Extremal Type I				
Summary of Data				
First Moment (mean) = 17.7083				
Second Moment = 2.167e02				
Skew = 8.665e-01				
Point Number	Weibull Probability	Actual Value	Predicted Value	Standard Deviation
1	0.0769	5.5000	-4.3002	5.2590
2	0.1538	5.6000	0.4966	4.3226
3	0.2308	6.7000	4.2139	3.7907
4	0.3077	6.8000	7.5392	3.5300
5	0.3846	9.5000	10.7349	3.5161
6	0.4615	9.6000	13.9586	3.7402
7	0.5385	10.5000	17.3443	4.1906
8	0.6154	15.6000	21.0438	4.8630
9	0.6923	20.6000	25.2746	5.7799
10	0.7692	34.8000	30.4150	7.0198
11	0.8462	41.2000	37.2883	8.7965
12	0.9231	46.1000	48.4911	11.8346
Predictions				
Exceedence Probability	Return Period	Calculated value	Standard Deviation	
0.9950	200.0	90.6772	23.7438	
0.9900	100.0	80.0849	20.7242	
0.9800	50.0	69.4538	17.7067	
0.9600	25.0	58.7435	14.6884	
0.9000	10.0	44.3065	10.6863	
0.8000	5.0	32.8804	7.6453	
0.6670	3.0	23.8058	5.4480	
0.5000	2.0	15.6226	3.9377	

Fuente: Elaboración propia utilizando el software SMADA.

Posteriormente con los datos suministrados por el software SMADA, se representan en un gráfico Gumbel-aritmético, en el que se halla la intensidad de precipitación en mm por el método gráfico, en el eje de las abscisas Tiempo de Retorno y en el eje de las ordenadas Intensidad precipitación, para el proyecto. (Ver Imagen 13)

Imagen 13- Gráfico analítico probabilidad de Gumbel



Fuente: Elaboración propia.

Para la ejecución del presente trabajo de investigación, se tomó un periodo de retorno de 10 años, el cual será la base para evaluar la intensidad de precipitación en las pruebas que se apliquen a los prototipos, como se refleja en la Imagen 11, la proyección del método gráfico para hallar la Intensidad de precipitación fue de 11 mm.

Posteriormente se comprueba la fiabilidad de los datos aplicando la siguiente ecuación para el cálculo del error entre el método analítico y el gráfico:

$$E\% = \left| \frac{Int A - Inte G}{Int G} * 100 \right| \quad (Ecuación 2)$$

Donde:

E%: Error porcentual

Int A: Intensidad de precipitación Analítica usando el software SMADA en mm

Int G: Intensidad de precipitación Grafica Usando el método de probabilidad de GUMBEL en mm

$$E\% = \left| \frac{10.68 \text{ mm} - 11 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} * 100 \right|$$

$$E\% = 2.909$$

De acuerdo con el error presentado en la fiabilidad de los datos, se obtuvo un porcentaje bajo, por lo que los datos son confiables para realizar las respectivas pruebas en los prototipos.

3.3.4. Calculo de volumen para simulación de las pruebas

Teniendo en cuenta el análisis por el método analítico realizado en el programa SMADA para un tiempo de retorno de 10 años del proyecto, se obtuvo una Intensidad de precipitación de 10.68 mm, ya que el prototipo está proyectado para un área de pruebas de 0.25 m², se procedió a escalar el volumen para simular las pruebas de la mejor manera. (Ver Ecuación 3)

$$Int \text{ Precipitación Escalada para Pruebas} = Int \text{ Preci. } M. \text{ max Dairía} * \text{Área Prototipo} \quad (Ecuación 3)$$

$$10.68 \frac{l}{m^2} * 0.25 \text{ m}^2 = 2.67 \text{ litros} \approx 3 \text{ litros}$$

Tabla 4- Determinación intensidad precipitación escalada para prototipo

Conversión de Escala Intensidad Precipitación SMADA				
Intensidad Precipitación Media máx. Diaria	Intensidad Precipitación Media máx. Diaria	Área Prototipo Cubierta Vegetada	Intensidad Precipitación Escalada para Pruebas	Intensidad Precipitación Escalada para Pruebas Aprox.
(mm)	(l/m ²)	(m ²)	(l/m ²)	(l/m ²)
10.680	10.680	0.250	2.670	3.000

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos de la tabla 4, se tomará un volumen de agua para las pruebas en prototipos de 3 litros por día.

3.4. PASO IV: Diseño y elaboración de prototipos

3.4.1. Definir el tipo de cubierta de acuerdo a la zona de instalación

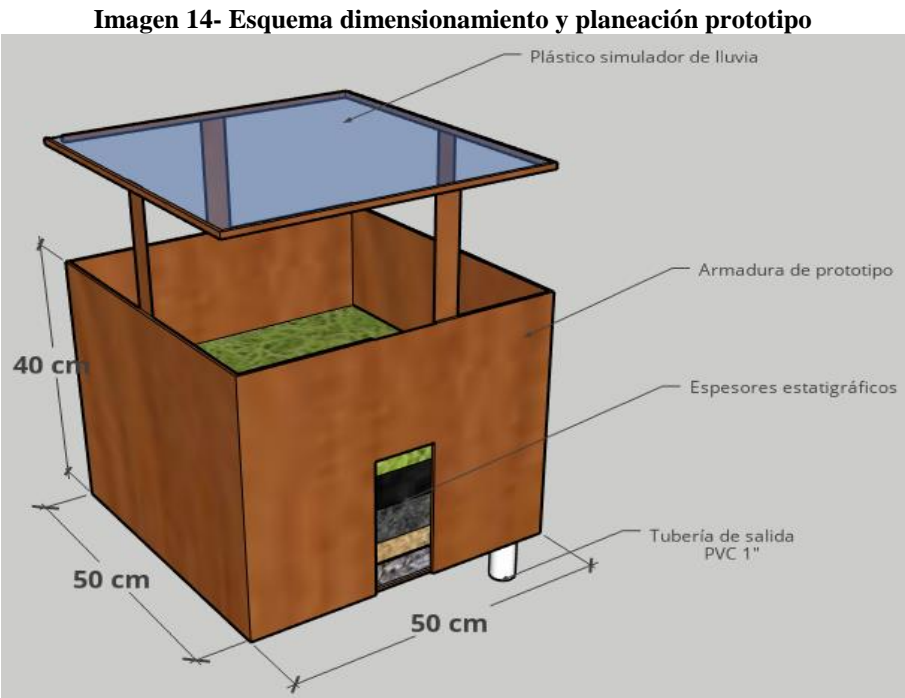
Como primera instancia se definió el uso de una cubierta de tipo intensiva, con el fin de no aplicar cargas significativas en la placa de cubierta de la Sede 4 de la Universidad Católica de Colombia, por lo cual tendrá un espesor de sustratos de 15 cm, esto conlleva a que se analicen los tipos de sustratos (capas) que se utilizan en la cubierta vegetada, de tal manera que se investigó sobre los más utilizados y que cumplieran con la función de un medio filtrante, esto basados en referencias de empresas presentes en Colombia dedicadas al diseño e instalación de este tipo de proyectos ecoambientales.

3.4.2. Dimensionamiento y planeación del prototipo

Se construyen 4 prototipos de tal forma que se pueda estudiar el comportamiento de cada cubierta vegetada con un número de plantas contenidas en ella. Cada prototipo tiene un tamaño de 0.50x0.50m con una altura de 0.4m, se instalará una plataforma en la cual se simule la lluvia, de acuerdo a la intensidad del volumen de agua que se aplique para las pruebas.

Se utilizará madera para el armado de la estructura, estos serán ajustados con puntillas de 2" 1/2, se instalará una ventana en vidrio transparente que nos permita identificar las capas de cada

prototipo y su funcionamiento, los prototipos serán forrados poliuretano de color negro de espesor de 1mm ajustado a la altura necesaria, adicional se pondrán un desagüe con un tubo de PVC de 1” para simular la bajante de aguas lluvias instaladas en cubierta.










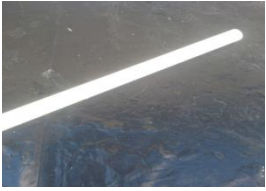






Fuente: Elaboración propia usando el software Google SketchUp.

3.4.3. Materiales requeridos para la construcción del prototipo

En la Tabla 5 se relacionan los materiales básicos para la construcción de los prototipos.

Tabla 5- Materiales constructivos para prototipo			
Material	Unidad medida	Cantidad	Imagen
Durmientes de eucalipto	ml	16	

Material	Unidad medida	Cantidad	Imagen
Listón en pino	m ²	4	
Sierra eléctrica para madera	und	1	
Escuadra metálica	und	1	
Puntilla para madera 1"	lb	1	
Puntilla para madera 2 1/2"	lb	1	
Martillo de carpintería	und	1	
Tubo PVC 1"	ml	2	

Material	Unidad medida	Cantidad	Imagen
Tubo PVC ½"	ml	0.5	
Codo PVC 90° 1"	und	4	
Codo PVC 90° ½"	und	1	
Poliuretano negro 1mm espesor	m ²	3.5	
Lamina poliuretano negro 3mm espesor	m ²	1	
Vidrio Transparente (0.15mX0.30)	und	4	
Manguera de jardinería ½"	ml	1	

Material	Unidad medida	Cantidad	Imagen
Balde plástico	und	4	
Silicona transparente	und	1	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Investigar y definir el tipo de planta o plantas que cumplan las características requeridas para una cubierta vegetada

Se construyen 4 prototipos de tal forma que se pueda estudiar el comportamiento de cada cubierta vegetada con un número de plantas contenidas en ella. Para la elección del tipo de planta que se va a utilizar se deben tener en cuenta todos los factores ambientales que influyen en el crecimiento y funcionamiento de la planta en la cubierta vegetada.

Las plantas que se usan en cubiertas vegetadas tienen distintas características dependiendo la zona donde se va a construir. Teniendo en cuenta criterios de la planta como capacidad de absorción, capacidad de filtración, si es una planta vascular o no vascular, que no se vea afectada por los cambios climáticos o de trasplante.

Se utilizó la planta de nombre **Duranta Erecta Golden Edge** de la clase arbustiva, originaria del sur de Estados Unidos y de Argentina, fue escogida al ser una planta que requiere del sol directo, es apropiada para la cubierta vegetada ya que al estar expuesta al sol su coloración será más llamativa. Su siembra puede ser 20 cm entre una y otra, reduciendo en gran parte la cantidad necesaria para cubrir el área total de la cubierta vegetada. Esta planta necesita únicamente de un riego por semana, es una planta vascular ya que sus raíces crecen superficialmente. Esta planta puede propagarse por esqueje, puede trasplantarse al cabo de 20 a 30 días lo que permite utilizarla

para construir otra cubierta vegetada sin necesidad de invertir en su compra. Para tener un mejor cubrimiento de la cubierta esta se puede podar una vez por mes.(Plantas, 2020)

Imagen 15- Duranta Erecta Golden Edge – planta escogida para el prototipo de cubierta



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6- Cuadro resumen características de planta Duranta Erecta Golden Edge

<i>Duranta Erecta Golden Edge</i>			
Categoría	Variables	Categoría	Variables
Origen	exótico sin potencial invasor	Suelo	Suelos no profundos
Habito (tipo de crecimiento de la planta)	Arbusto	Aplicaciones en jardinería	Si
Propagación	Esquejes		
Clima	Presenta adaptación a diversos climas	Mantenimiento	Baja frecuencia (poda, fertilización y sustrato)
Agua	Bajo consumo de agua	Altura de la planta	0 - 0.5 m
Requerimientos lumínicos	Sol y Semisombra	Vascular	Si
		Perennes	Si
Viento	Vientos de mediana intensidad	Raíces fasciculadas	Si

Fuente: Elaboración propia basados en <http://www.consultaplantas.com/index.php/plantas-por-nombre/plantas-de-la-d-a-la-l/305-cuidados-de-la-planta-duranta-repens-duranta-erecta-o-flor-celeste>

3.4.5. Proceso constructivo del prototipo

Los prototipos de la cubierta vegetada se construyeron simulando una escala real, definido el tipo de madera para la estructura se procede a armar el prototipo con las medidas ya establecidas, finalizada la estructura se inicia el alistado de las paredes de cada prototipo utilizando el listón de pino, se hace una perforación en forma de rectángulo en una de las caras de cada prototipo, en esta perforación se instala el vidrio transparente de inspección.

Imagen 16- Construcción del estructura prototipo



Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción del fondo de cada prototipo se acondicionan con una pendiente del 2% con el fin de garantizar un adecuado drenaje del sistema y así evitar el estancamiento de agua. La pendiente construida va dirigida al desagüe de cada cubierta vegetada, terminado el fondo de cada prototipo se verifica que no tenga anomalías o irregularidades. Se realiza el corte de la capa de poliuretano de 3mm de espesor para el fondo de cada prototipo.

Las paredes de cada prototipo se forran en poliuretano de 1mm de espesor dejando un traslapo en el fondo de 10cm. Finalizado el proceso de forrado se hace una prueba en cada uno de ellos para verificar que no tenga escapes y que la pendiente este cumpliendo con su función.

Imagen 18- Capa de poliuretano



Imagen 17- Forraje de prototipo



Fuente: Elaboración propia.

Para el desagüe de cada prototipo se hace una perforación en el fondo, esta perforación debe estar ubicada al final de la pendiente del fondo de cada prototipo, el diámetro de la perforación debe ser igual al diámetro de la tubería de desagüe.

La red de evacuación de cada prototipo consiste en un desagüe ubicado en el fondo de la cubierta vegetada, los accesorios que componen el desagüe de la cubierta deben tener un recubrimiento en geotextil para evitar que partículas entren en el sistema y ocasionen un taponamiento, el diámetro de cada desagüe corresponde a 1”.

Imagen 19- Red de desagüe tubería PVC 1”



Fuente: Elaboración propia.

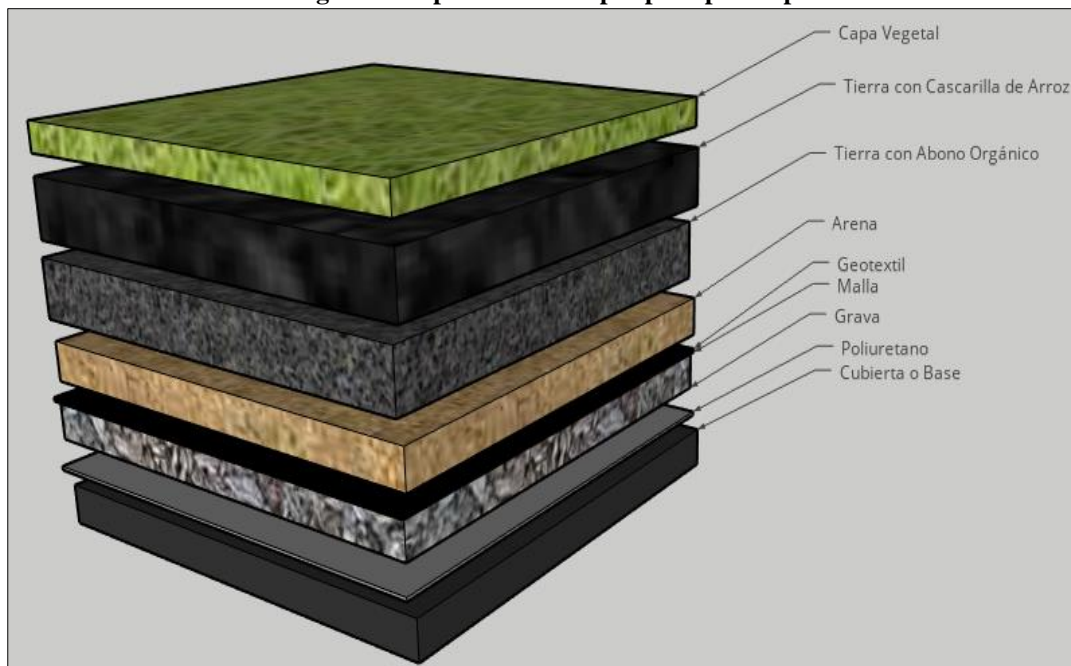
Finalizado el armado de todos los prototipos se deben adecuar en un sitio nivelado y que no tenga contacto con factores como lluvia o sol que afecten la eficiencia de los mismos.

3.4.6. Determinación de los espesores de materiales por prototipo y siembra de vegetación

Cada prototipo está conformado por una capa de grava, geotextil, arena, tierra con compuestos inorgánicos y tierra negra con cascarilla de arroz, estos componentes satisfacen las necesidades básicas de las plantas. Estos materiales se utilizaron en cada prototipo debido a que tienen propiedades como bajo peso y capacidad de drenaje para garantizar el flujo y evacuación efectiva del agua.

Los sustratos constan de materiales orgánicos y minerales que es producido siguiendo los lineamientos de la norma Alemana **FFL (Forschungsgesellschaft Landsentwicklung Landschaftsbau e.V.)**.

Imagen 20- Especificación capas para prototipos



Fuente: Elaboración propia usando el software Google SketchUp.

Los sustratos de la segunda capa están compuestos principalmente por materiales inorgánicos, para así lograr un buen drenaje, la capa de tierra con cascarilla de arroz también permite un buen drenaje en la cubierta y no tengan un exceso de retención de agua.

Imagen 22- Capa de Grava



Imagen 21- Malla de 1mm



Imagen 24- Capa geotextil



Imagen 23- Capa de arena



Imagen 25- Capa de tierra con material orgánico



Imagen 26- Capa de tierra con cascarilla de arroz



Fuente: Elaboración propia.

Cada prototipo está compuesto por distintos espesores de sustratos, con el fin de estudiar la variación de la capacidad de retención de la cubierta vegetada. (Ver Tabla 7)

Tabla 7- Espesores de sustrato para cada prototipo de cubierta vegetada

		PROTOTIPO #1		PROTOTIPO #2	
		H total	0.15 m	H total	0.15 m
ESPESORES	GRAVA	0.01 m		GRAVA	0.03 m
	ARENA	0.01 m		ARENA	0.02 m
	SUSTRATO 1	0.065 m		SUSTRATO 1	0.05 m
	SUSTRATO 2	0.065 m		SUSTRATO 2	0.05 m

		PROTOTIPO #3		PROTOTIPO #4	
		H total	0.15 m	H total	0.15 m
ESPESORES	GRAVA	0.02 m		GRAVA	0.04 m
	ARENA	0.03 m		ARENA	0.04 m
	SUSTRATO 1	0.04 m		SUSTRATO 1	0.035 m
	SUSTRATO 2	0.06 m		SUSTRATO 2	0.035 m

Fuente: Elaboración propia.

Cada estrato que compone un prototipo debe ser colocado de manera uniforme y sin compactarlo, se deben poner en 2 capas para que cada sustrato tenga un asentamiento natural. Se hace un riego a cada prototipo antes de la primera siembra de las plantas.

Imagen 27- Estratos vistos desde ventanilla de inspección



Fuente: Elaboración propia.

La primera siembra es de 3 plantas por cada prototipo, esto con el fin de estudiar los cambios de cada cubierta al tener la misma población de plantas pero distintos espesores de estratos. Se realizaron pruebas de retención y filtración a cada prototipo en un total de 7 días con respecto a la primera siembra. La población de plantas en cada prototipo al finalizar con las primeras pruebas se aumentó a 4 plantas, se realizan nuevamente pruebas de retención y filtración en cada prototipo con el aumento del número de plantas, estas pruebas se realizaron durante 7 días. Siguiendo el mismo procedimiento se aumentó el número de plantas en cada prototipo hasta tener un total de 6 plantas en cada uno, realizando las mismas pruebas para una población de 5 y 6 plantas.

Imagen 28- Plantación de *Duranta Erecta* Golden Edge



Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Pruebas con lluvia simulada de acuerdo a intensidad de precipitación

Los prototipos para la pruebas fueron protegidos ante las precipitaciones naturales en la zona de construcción de los mismo, teniendo en cuenta que las pruebas realizadas para la recopilación de datos se ejecutaron bajo la condición de precipitación máximas multianual del año 2019, por lo que someter los prototipos a precipitaciones naturales saturarían los estratos y la comparación de datos se podría ver alterada, sin embargo las condiciones de temperatura estuvieron presentes en el momento de las pruebas.

Para garantizar que cada prototipo funcionara adecuadamente en época de precipitaciones anteriormente se hizo un estudio hidrológico para determinar intensidad de precipitación que debería tener cada prototipo. Para simular la precipitación en cada prototipo se diseñó un sistema de riego que cubriera el área de cada uno de los prototipos.

Este sistema de riego consta de un plástico transparente, de un área de 0.20 m^2 + el bordillo en madera para su templado, lo que permite que el prototipo quede cubierto en su totalidad. Este plástico esta perforado de tal manera que se simule la lluvia en el momento de suministrar el volumen de agua.

Imagen 30- Prototipo terminado



Imagen 29- Sistema de simulador de lluvia para pruebas



Fuente: Elaboración propia.

El volumen suministrado a cada prototipo corresponde al estudio hidrológico realizado (ver tabla 4) del paso III metodológico. Estas pruebas se controlan de forma manual, la simulación de la lluvia se realizó 3 veces por día distribuyendo el volumen de la intensidad diaria en el número de pruebas realizadas, esto equivale a 1 litro por prueba. Las pruebas se realizaron en el periodo del 10 de abril del 2020 al 8 de mayo del 2020.

3.5. PASO V: Pruebas y recopilación de datos

Las pruebas realizadas en cada uno de los 4 prototipos de cubierta vegetada se centraron en el volumen de filtración y retención. Estas variables se recopilaban mediante la recolección de datos diarios realizados en cada uno de los prototipos.

Como se utilizó un simulador artesanal para la lluvia se pudo medir el volumen de la intensidad de precipitación que recibiría cada prototipo, estos datos fueron medidos de manera manual. Al

inicio de la simulación de la lluvia se tomó el tiempo desde que el agua hizo contacto con los sustratos hasta que finalizó el proceso de filtración.

Imagen 31- Momento de pruebas en prototipos



Fuente: Elaboración propia.

Se tomaron tiempos de inicio y fin de las pruebas, también se recolectaron datos del volumen filtrado en cada prototipo, este volumen fue recolectado por el sistema de drenaje del prototipo y luego medido para ser comparado con los volúmenes anteriores y los espesores de los sustratos.

Imagen 33- Muestra de prueba P1



Imagen 32- Muestra de prueba P2



Imagen 35- Muestra de prueba P3



Imagen 34- Muestra de prueba P4



Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas a los 4 prototipos, en cuanto al porcentaje de captación y a los tiempos de duración de las pruebas dependiendo de las condiciones de diseño de cada uno de ellos.

4.1. Resultados Volumen de captación de agua

Para la evaluación de los datos obtenidos, se realizó un análisis del porcentaje retenido de agua para cada una de las tres pruebas diarias a cada prototipo y con el factor de la cantidad de plantas para las pruebas, como se evidencia en la Tabla 8.

Tabla 8- Evaluación porcentaje retenido de agua en las pruebas (Prototipo 1 – 3 plantas)

N° prueba	FECHA	Volumen inicial	Volumen pasa(ml)	Volumen retenido(ml)	Porcentaje retenido
#	d/m/a	ml	ml	ml	%
1	10-abr-20	1000	675	325	33%
2	10-abr-20	1000	815	185	19%
3	10-abr-20	1000	860	140	14%
4	11-abr-20	1000	815	185	19%
5	11-abr-20	1000	860	140	14%
6	11-abr-20	1000	855	145	15%
7	12-abr-20	1000	820	180	18%
8	12-abr-20	1000	870	130	13%
9	12-abr-20	1000	860	140	14%
10	13-abr-20	1000	835	165	17%
11	13-abr-20	1000	880	120	12%
12	13-abr-20	1000	870	130	13%
13	14-abr-20	1000	845	155	16%
14	14-abr-20	1000	880	120	12%
15	14-abr-20	1000	880	120	12%
16	15-abr-20	1000	850	150	15%
17	15-abr-20	1000	890	110	11%
18	15-abr-20	1000	880	120	12%
19	16-abr-20	1000	870	130	13%
20	16-abr-20	1000	910	90	9%
21	16-abr-20	1000	890	110	11%
Promedios			852.87	147.13	0.15
Los porcentajes retenidos se evaluaron para los siguientes rangos de de eficiencia					
		0-33%		34-63%	64-100%

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Análisis resultados pruebas de retención

Con los datos de las pruebas realizadas durante los 28 días para cada prototipo con la densidad de plantas determinadas para las pruebas, se obtuvo la información de la Tabla 9.

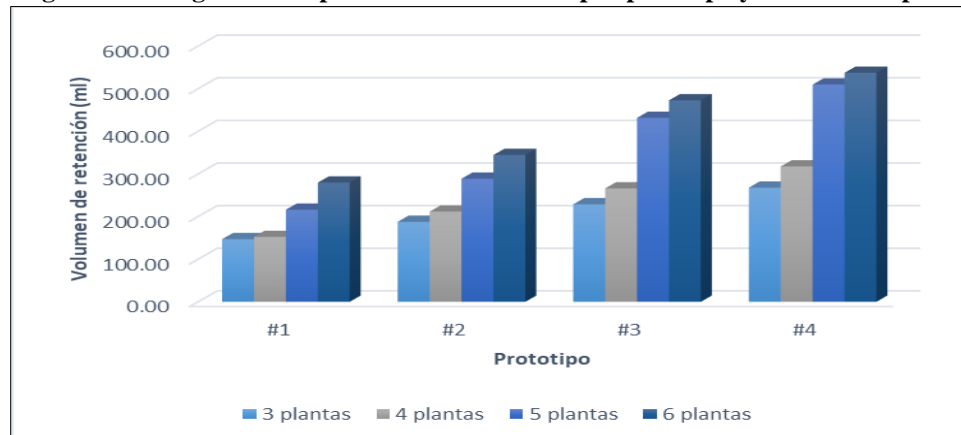
Tabla 9- Promedios de volumen retenido por prototipo y densidad de plantas

Prototipo	#1	#2	#3	#4
Volumen Prom. Retenido (ml) con 3 plantas	147.13	187.59	228.80	267.86
Volumen Prom. Retenido (ml) con 4 plantas	152.33	211.66	266.16	317.65
Volumen Prom. Retenido (ml) con 5 plantas	216.19	288.81	431.62	509.78
Volumen Prom. Retenido (ml) con 6 plantas	280	344.52	472.70	537.40
Prom. Volumen Retenido (ml)	198.85	258.15	349.82	408.17
Nota: resaltados los datos de retención del más del 50% durante las pruebas				

Fuente: Elaboración propia.

Como primer análisis evidenciado en la Tabla 9, es notorio que la densidad de las plantas es tal vez el factor más influyente en el comportamiento de los prototipos en cuanto al volumen de agua retenido, pues los aumentos entre el prototipo #1 al #4 se incrementan en casi al doble. (Ver Imagen 36)

Imagen 36- Histograma comportamiento retención por prototipo y densidad de plantas



Fuente: Elaboración propia.

Otro factor a tener en cuenta es el espesor del medio de crecimiento ya que con diferentes espesores la retención se comportó de forma distinta en cada prototipo, esto debido a que el medio filtrante con una capa de arena mayor hace que la retención sea mayor y se encuentren valores aceptables para la cubierta vegetada, considerando valores de retención entre el 30 y 60 %.

4.2. Resultados tiempo de retención

La evaluación del comportamiento de las pruebas frente al tiempo de ejecución, fue analizada por el promedio de los tiempos (ver Tabla 10) desde el inicio de la prueba hasta el final, es importante resaltar que los tiempos se tomaron a partir que el agua a través de la lluvia simulada artesanalmente toco la primer capa de sustrato del prototipo.

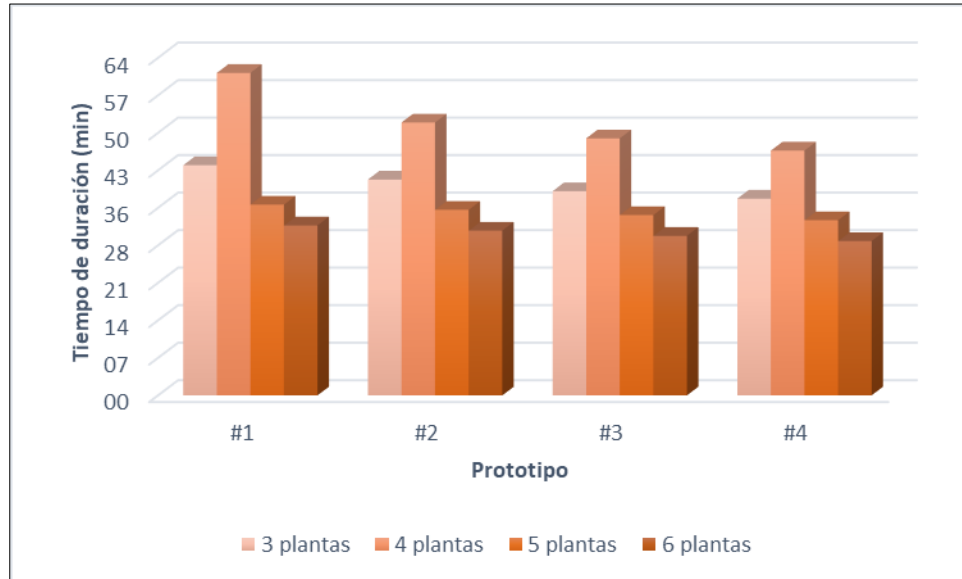
Tabla 10- Tiempo promedio de duración de las pruebas

Prototipo	#1	#2	#3	#4
Tiempo prom. de pruebas (min) con 3 plantas	44	41	39	37
Tiempo prom. de pruebas (min) con 4 plantas	61	52	49	47
Tiempo prom. de pruebas (min) con 5 plantas	36	35	34	33
Tiempo prom. de pruebas (min) con 6 plantas	32	31	30	29
Prom. Tiempo de pruebas (min)	43	40	38	37
Nota: resaltados los datos que superaron más de 60 minutos				

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de la Tabla 10, se puede determinar que el prototipo más efectivo en cuanto al tiempo de pruebas es el #4 con una densidad de 6 plantas, a continuación se evidencia de manera más clara el comportamiento. (Ver Imagen 37)

Imagen 37- Histograma comportamiento del tiempo en las pruebas por prototipo y densidad de plantas



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Imagen 37 se evidencia que las pruebas tomadas a los prototipos con una densidad de 4 plantas presentó los mayores tiempos para cada una de las pruebas, es de suponerse que por el comportamiento del histograma, debió presentar un tiempo menor que el de las pruebas con 3 plantas, esto pudo deberse a un error en la toma de los tiempos para las muestras o a los espesores de materiales.

4.3. Análisis general

El comportamiento del volumen de agua retenida de cada uno de los prototipos fue el indicado, debido a que se proyectaba que el espesor estratigráfico de las capas influiría directamente en la retención, lo anterior, teniendo en cuenta que el prototipo #4 poseía un espesor mayor de arena lo que produjo una retención entre el 50% y 60% de para las pruebas de 1 (un) litro.

El resultado de las pruebas fue el esperado para 3 de los 4 prototipos, teniendo en cuenta que se mantiene la proporcionalidad entre la retención y el tiempo de duración de estas, sin embargo el resultado no esperado corresponde a las pruebas con una densidad de 4 plantas, lo que nos indica que se pudo presentar errores en las muestras del 17 al 21 de abril o por condiciones climáticas no evaluadas en el proyecto.

4.4 Transferencia de resultados

El proyecto realizado contiene modelos matemáticos y una metodología explicativa que pueden servir de estrategias de diseminación de la investigación, pudiendo ser aplicada en cualquier sociedad que disponga de los recursos para su ejecución. Por lo tanto, otros canales como la investigación colaborativa por parte del director del proyecto, la movilidad estudiantil y el emprendimiento de personas, también pueden surgir como mecanismo de enfoque para promover la transferencia de conocimiento adquirido en la elaboración del documento sobre los beneficios de la implementación de cubiertas vegetadas en las estructuras y condiciones hidrológicas de cada ciudad.

5. CONCLUSIONES

En aras de simular una forma cercana a la de las cubiertas vegetadas extensivas, en cuanto al espesor de las capas y las plantas características usadas normalmente en estos proyectos, se

evidencia que existe un margen de error amplio, dado que el comportamiento de pruebas con lluvias simuladas artesanalmente, en este caso no tienen factores de influencia como la fuerza de caída de la lluvia, comportamiento en granizadas y vientos fuertes, por lo que es recomendable que los prototipos en todos los casos de estudio sean evaluados en condiciones reales de precipitación.

Al realizar estas pruebas en el sitio de trabajo o espacio deseado para tal fin, contribuirá a determinar de una manera más acertada el tipo de cubierta y sus condiciones técnicas y de diseño, proporcionando así un proyecto más aterrizado en cuanto a factores de durabilidad, respecto a las condiciones climáticas, que influenciará directamente en costos de mantenimiento y conservación de dicho espacio.

Durante el desarrollo del proyecto el comportamiento de los prototipos fue aceptable respecto a las pruebas realizadas para la obtención de los valores de retención y tiempo, pues el diseño constructivo y la calidad de los materiales influyeron positivamente para la ejecución de las pruebas.

Los resultados obtenidos a través de los prototipos ratifican que la implementación de cubiertas vegetadas contribuiría a un manejo más adecuado del agua lluvia en la Sede 4 de la Universidad Católica de Colombia, en cuanto al control de escorrentía y contribución de manejo ambiental en el sector.

Ya que uno de los factores evaluados de mayor incidencia fue la retención del agua lluvia, se corrobora la información de los artículos y proyectos investigados sobre los comportamientos positivos y beneficios que traen este tipo de proyecto ecoambientales para el control y manejo de este recurso hídrico.

La escasez de información y normativa en Colombia para la implementación y diseño de cubiertas vegetadas, hace de este un tipo de proyecto que pueda contribuir con la recolección de datos para que empresas de construcción y hogares implemente tipos de proyectos ecoambientales que sirvan para el manejo del agua lluvia y que puedan mitigar el impacto ambiental.

6. RECOMENDACIONES

A futuro se sugiere evaluar los componentes fisicoquímicos y microbiológicos del agua, en aras que la Universidad pueda evaluar un proyecto complementario como el proceso de potabilización de esta.

Para futuras investigaciones aplicadas a este tipo de proyectos del comportamiento de cubiertas vegetadas, se podría evaluar las pautas frente a la evapotranspiración, humedad, retención de agua propia de la planta escogida, mediante la implementación de dispositivos electrónicos que ofrezcan mayor información y precisión en los datos, mediante monitoreo diario.

Es recomendable hacer un análisis estructural del edificio en la zona de implementación de una cubierta vegetada, además de una verificación en el diseño de espesores teniendo en cuenta el análisis estructural inicial del edificio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abellán, A. (2016). Cubiertas Verdes. Retrieved from Sub Sostenible website:

<http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cubiertas-vegetadas/>

Aguirre, D. M., & Morera, C. A. (2014). *Modelación hidrológica de techos verdes productivos*.

Bioconstrucción. (2020). Captación de agua de lluvia. Canalizar, recoger y almacenar. Retrieved from ecocosas website: <https://ecocosas.com/construccion/captacion-de-agua-de-lluvia/>

Congreso De La Republica. (2005). Ley 373 De 1997. *Meta*, 4(January), 61. Retrieved from <http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/37594%5Cnhttp://www.emdupar.gov.co/emd/index.php/la-entidad/normatividad/normatividad/normatividad-general/ley-373-de-1997-pdf/download>

Contreras-Bejarano, O., & Villegas-González, P. A. (2019). Techos verdes para la gestión integral del agua: caso de estudio Chapinero, Colombia. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(5), 282–318. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-11>

Duran, P., Herrera, L. A., & Guido, P. (2010). Captación De Agua De Lluvia, Alternativa Sustentable. *Congreso Nacional Del Medio Ambiente*, 1–14. Retrieved from www.conama10.es

Ecocosas. (2011). Captación de agua lluvia. Retrieved from <https://ecocosas.com/construccion/captacion-de-agua-de-lluvia/?cn-reloaded=1>

ECOPORTAL. (2017). Cómo recolectar agua lluvia en tu casa. Retrieved from <https://www.ecoportel.net/alimentacion/cultivos/ecovida-como-recolectar-agua-de-lluvia-en-tu-casa-es-ecologico-economico-y-muy-simple/>

EcuRed. (2007). Alcantarillado @ www.ecured.cu. Retrieved from <https://www.ecured.cu/Alcantarillado>

EcuRed. (2018). Agua_pluvial. Retrieved from Agua Pluvial website: https://www.ecured.cu/Agua_pluvial

EcuRed. (2019a). Esqueje @ www.ecured.cu. Retrieved from <https://www.ecured.cu/Esqueje>

EcuRed. (2019b). Percolación @ www.ecured.cu. Retrieved from <https://www.ecured.cu/Percolación>

FAO. (2013). Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia. In *Santiago de Chile*. <https://doi.org/10.1111/jce.13019>

Guerrero, P. (2011). hidrometeorologia @ geografia.laguia2000.com. Retrieved from Hidrometeorología website: <https://geografia.laguia2000.com/general/hidrometeorologia>

Guillermo Fdez. Weigand. (2018). Index @ Www.Botanipedia.Org. Retrieved from PLANTAS VASCULARES Y NO VASCULARES website: https://www.botanipedia.org/index.php?title=PLANTAS_VASCULARES_Y_NO_VASCU

LARES

- Ingeoexpert. (2018). ¿Qué es un acuífero y cómo se forma? Retrieved from Ingeoexpert website: <https://ingeoexpert.com/acuifero-aguas-subterraneas/?v=42983b05e2f2>
- Jore, E., & Hector, Z. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana , sede Bogotá. In *Pontificia Universidad Javeriana*.
- Julián Pérez Porto y María Merino. (2016). Definición de Recursos hídricos. Retrieved from Definición website: <https://definicion.de/recursos-hidricos/>
- López, N. A., Palacios, O. L., Anaya, M., Chávez, J., & Enrique, J. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia : alternativa de abastecimiento hídrico * Rainwater harvesting systems design : an alternative for water supply Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1433–1439.
- Marcano, J. E. (2019). *hidrologia @ jmarcano.com*. Retrieved from <https://jmarcano.com/planeta/hidrologia.html>
- Másmela, G. A., Hernandez, D. D., Julio, C., Laiton, T., Orlando, M., & Castro, L. (2015). *Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS*. 62. Retrieved from <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Lineamientos-PT-SUDS-V1-261218.pdf>
- Mcclatchy, E., Business, T., & July, W. W. (2009). *City sets new rules for runoff : City adopts new stormwater rules*. (July), 1–3.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente, Dirección de Ecosistemas, G. de R. H. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH*.
- MPlu+a. (n.d.). Modelo de Proceso de la Ingeniería de la usabilidad y de la accesibilidad. Retrieved from <https://mpiua.invid.udl.cat/fases-mpiua/prototipado/que-es-un-prototipo/>
- Nieto Escalante, J. A. (2011). *SISTEMA URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible S U D S 3 CONTENIDO*. Retrieved from <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
- Plantas, C. (2020). 305-cuidados-de-la-planta-duranta-repens-duranta-erecta-o-flor-celeste @ www.consultaplantas.com. Retrieved from

- <http://www.consultaplantas.com/index.php/plantas-por-nombre/plantas-de-la-d-a-la-l/305-cuidados-de-la-planta-duranta-repens-duranta-erecta-o-flor-celeste>
- RUBIO, M. C. R. y J. J. (2014). *Recoleccion-aguas*. Retrieved from <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- SCALL, R. T. (2018). Red Tematica en Sistemas de Captación del Agua de Lluvia. Retrieved from <http://www.captaciondelluvia.org/redscall/>
- Significado. (2016). Significado de precipitación. Retrieved from <https://www.significados.com/precipitacion/>
- Stefanoff, H. (2019). *COMPARING THE HYDROLOGIC PERFORMANCE OF INTENSIVE AND EXTENSIVE GREEN ROOFS IN ATLANTA , GA USA*.
- Triana & Loaiza. (2018). *Evaluación experimental de la capacidad de retención de agua lluvia de coberturas vegetales mixtas , en un prototipo de techo verde , bajo la dinámica climática de la localidad de Engativá en Bogotá*.
- Wanda Mirel Solorio García, U. E. (2014). Conoce la defcnición de gobernabilidad. Retrieved from <https://www.utel.edu.mx/blog/10-consejos-para/conoce-la-definicion-de-gobernabilidad/>
- Wilman Ortiz, & Velandia, W. (2017). Propuesta para la captacion y uso de agua de lluvia en las instalaciones de la Univercidad Catolica de Colombia a partir de un modelo fisico de recoleccion de agua. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1(1), 1188–1197. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02280.x>

ANEXOS

- 1- Análisis Datos Intensidad y Resultados de Pruebas
- 2- Fichas Técnicas Prototipos

